

INNOVATIVE STUDIES IN ENGINEERING



All Sciences Academy

***INNOVATIVE
STUDIES IN
ENGINEERING***

Editor

Asist. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA





Innovative Studies In Engineering Sciences

Editor: Asist. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

Design: All Sciences Academy Design

Published Date: June 2024

Publisher's Certification Number: 72273

ISBN: 978-625-6314-15-3

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

CONTENT

1. Chapter	6
Determination of cutting parameters in the machining of Inconel 718 with four different cemented carbide cutting tools	
<i>Abdullah ALTIN</i>	
2. Chapter	22
The Effect of cutting speed on turning parameters of inconel 718 with ceramic cutting tools	
<i>Abdullah ALTIN</i>	
3. Chapter	37
Yapılarda Yıkım İşlemleri ve Uygulama Prosedürleri	
<i>Ayça AKBAŞ, Özlem ÇALIŞKAN</i>	
4. Chapter	56
NASA-TLX Yöntemi İle Zihinsel İş Yüklerinin Değerlendirilmesi ve Bir Hizmet Sisteminde Uygulama	
<i>Bahar ÖZYÖRÜK</i>	
5. Chapter	77
Hastane İç Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergelerinin Belirlenmesi	
<i>Bora KARACAER, Bahar ÖZYÖRÜK</i>	
6. Chapter	103
Artificial Intelligence Applications in Organized Industrial Zones	
<i>Cihan YALÇIN</i>	
7. Chapter	115
Geochemical Investigations of Maden Group Rocks At The Alıncık Village (West of Lake Hazar, Elazığ)	
<i>Dicle BAL AKKOCA, Zülfü BAKIR</i>	
8. Chapter	125
Otomotiv Sanayinin Talep Ettiği Özellikler Karşısında Demirin Durumu ve Potansiyeli	
<i>Ferhat BÜLBÜL</i>	

9. Chapter	143
Bazalt Tekstil Takviyeli Harç ile Güçlendirilmiş Döşemelerin Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel İncelenmesi <i>Güljin ASLAN, Hakan EROL</i>	
10. Chapter	165
Dizel Motorlarında Yanma Odaları Tasarım Kriterleri <i>İlker TEMİZER, Ömer CİHAN</i>	
11. Chapter	178
Tıp Alanında Kullanılan Polietilen Polimerlerin Tribolojik Analizde Yapay Sinir Ağı Yöntemi Kullanımı <i>Kemal ERMİŞ</i>	
12. Chapter	199
Gelecek İklim Projeksiyonlarına Göre Türkiye'nin Sektörel Bazda İklim Değişikliğinden Etkilenebilirliği ve Çözüm Önerileri <i>Mehmet Sait ERCEK, Murat BATAN</i>	
13. Chapter	234
Dizel Enjektör Parametrelerinin Yanma, Emisyon ve Performansa Etkisi <i>Ömer CİHAN, İlker TEMİZER</i>	
14. Chapter	246
Blok Zinciri Tasarımında Akıllı Sözleşmelerin Gizlilik ve Güvenlik Çözümleri <i>Ömer KASIM</i>	
15. Chapter	270
Tekstil ile Takviye Edilmiş Harçların Kullanımı <i>Murat YÜNCÜLER, Özlem ÇALIŞKAN</i>	
16. Chapter	288
AVR mikrodenetleyicide zamanlayıcıların CTC modda programlanması <i>Serhat KÜÇÜKDERMENCİ</i>	
17. Chapter	305
AVR mikrodenetleyicide zamanlayıcıların normal modda programlanması <i>Serhat KÜÇÜKDERMENCİ</i>	

18. Chapter	324
İşletmelerdeki Moral-Motivasyonun Verimliliğe Etkileri <i>Mehmet ÇOLAK, Tahsin ÇETİN</i>	
19. Chapter	342
Nanokompozit Takviyeli Hava Taşıtı Gövdesinin Sıcaklık Kontrollü Hızlı Kürleme ile Üretilmesinin Geliştirilmesi <i>Erdem ALINCA, Mustafa TAŞYÜREK</i>	
20. Chapter	357
Soil Erosion Mitigation Using Eco Friendly Materials <i>Aamna SHEERAZ, Erum AAMIR</i>	
21. Chapter	372
Enhancing Communication Skills Among Real Estate Negotiators in Malaysia: A Study on Strategies and Impacts <i>Noorsidi Aizuddin Mat Noor, Farhana Diana Deris, Noor Athirah Syazana Mat Noor, Nurul Syakima Mohd Yusoff, Siti Zaleha Daud, Mustafa Omar, Mohd Hafizal Ishak, Aina Safiyya Khairol Fahmi, Putri Noorfarisya Aleesha Noorsidi Aizuddin</i>	
22. Chapter	383
Evaluating the Impact of Data Augmentation on Recommender Systems Performance <i>Abderaouf BAHI, Ibtissem GASMI, Sassi BENTRAD</i>	
23. Chapter	394
Image Processing in Architectural Acoustics: A New Frontier <i>Melik SAMI, Khelil SARA</i>	
24. Chapter	398
Degradation Study of Magnesium alloy in Hank's solution <i>Saida BOUYEGH, Hadda REZZAG, Sabrina LADJAMA, Sihem BENAYACHE, Samira. TLILI</i>	
25. Chapter	419
Study of the wear behavior of the CoCrMo alloy in the presence of bio-lubricant <i>Hadda REZZAG, Saida BOUYEGH, Latifa KAHLOUL, Alima MEBREK, Afef AZZI, Amina GRAIRIAI</i>	

Tekstil İle Takviye Edilmiş Harçların Kullanımı

Murat YÜNCÜLER¹

Özlem ÇALIŞKAN²

- 1- İnşaat Yüksek Mühendisi; Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, murat.yunculer@bilecik.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-7384-8825
- 2- Doç. Dr.; Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr, ORCID No: [0000-0002-5272-9552](https://orcid.org/0000-0002-5272-9552)

ÖZET

Bu çalışmada geleneksel güçlendirme yöntemleri dışında son yıllarda yapısal güçlendirme alanında alternatif olarak ortaya çıkan Tekstil Takviyeli Harç (TRM) olarak adlandırılan yenilikçi bir kompozit malzeme ile ilgili bilgi verilmiştir. Tekstil Takviyeli Harçları oluşturan inorganik esaslı harç ve tekstil liflerinin çeşitleri, mekanik özellikleri, dayanım ve maliyet açısından farklılıkları incelenmiştir. TRM ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından yapılan önceki çalışmalar ve uygulanan testler sunulmuştur. Yapılan literatür taramaları sonucunda TRM uygulamasının ülkemizde güçlendirme ve onarım amaçlı betonarme yapılardan daha çok yığma tarihi yapılarda uygulandığı tespit edilmiştir. Buhar geçirgenliği, ekonomik olması, uygulama kolaylığı, tarihi yapılarda tarihi dokuyu bozmaması, çıkarılabilirlik, duvar ve beton yüzeylerle uyumluluk sağlaması ile TRM uygulaması tarihi yapıların güçlendirilmesi ve onarılması kapsamında tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. Çalışma sonucunda TRM üzerine yapılan çalışmaların sayısının geleneksel güçlendirme yöntemlerine göre nispeten sınırlı kaldığı tespit edilmiş ve TRM ile ilgili bilgi verilerek bu alanda farkındalık oluşturulabilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Tekstil Takviyeli Harç, Tekstil Lifleri, Harç, Güçlendirme, Onarım

GİRİŞ

Mevcut binaların güçlendirilmesi ihtiyacı; yaşlanma, çevresel kaynaklı bozulma, bakım eksikliği veya mevcut tasarım gerekliliklerini karşılama ihtiyacının bir sonucu olarak giderek daha önemli hale gelmektedir. Maliyetlerin artması ile yakın gelecekte mevcut eski betonarme yapıların yenileriyle değiştirilmesinin uygun bir seçenek olmaktan çıkması ve güçlendirme tekniklerinin öneminin artması muhtemeldir.

Geleneksel güçlendirme tekniklerinden olan betonarme kolon ve kirişlerin mantolama yapılması veya çelik çaprazlar eklenmesi gibi işlemler, genellikle yapıda büyük bir kütle artışına neden olur, bu da zaman alıcı ve maliyetli olabilir. Bu gibi hususlar daha pratik, hızlı ve ekonomik çözümler arayışına sebep olmuştur. Yeni güçlendirme teknikleri, bu sorunları aşmak için farklı yaklaşımlar sunar. Örneğin, yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin kullanımı, daha hafif ve daha hızlı bir güçlendirme sağlayabilir. (Luccioni ve Rougier, 2011:1725).

Tekstil malzemelerin yığma ve betonarme yapı elemanlarını güçlendirmek amacıyla kullanımı, son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu tekniklerin kullanımı 1980'lerden beri bilinmesine rağmen, günümüzde bu yöntemlerin yaygınlığı ve sıklığı önemli ölçüde artış göstermiştir. Fiber

takviyeli polimerler (FRP) ve karbon elyaf takviyeli polimerler (CFRP) mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılan güçlendirme tekniğidir (Papanicolaou vd., 2007:1081).

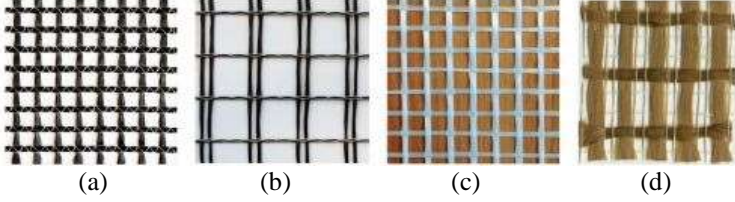
Yaklaşık on yıl kadar önce, maliyet ve dayanıklılık sorunlarına çözüm olarak, yapısal güçlendirme alanında kullanılmak üzere FRP'ye alternatif tekstil takviyeli harç (TRM) adında yeni bir çimento bazlı kompozit malzeme geliştirildi. Gelişmiş mühendislik bilgisi ve teknolojinin ilerlemesiyle, tekstil malzemelerin güçlendirme alanındaki kullanımı son 10 yıl içerisinde daha yaygın hale gelmiştir. Bu malzemelerin esnekliği ve hafifliği, geleneksel güçlendirme yöntemlerine kıyasla birçok avantaj sunar. Ayrıca, tekstil malzemelerin kullanımı, yapıların daha sürdürülebilir ve diğer kompozit malzemelerin özel yapıştırıcılarla güçlendirilmesine kıyasla çok daha ekonomik bir şekilde güçlendirilmesine olanak tanır. Bu nedenle, bu yöntemlerin popülaritesinin artmasıyla birlikte, yapıların güçlendirilmesinde tekstil malzemelerine olan talep de artmıştır (Mercimek vd., 2021:573). Tekstil Takviyeli Harç (TRM) kompozitlerinin, yangına dayanıklılık, buhar geçirgenliği, ekonomik olması, uygulama kolaylığı, tarihi yapılarda tarihi dokuyu bozmaması, çıkarılabilirlik, duvar ve beton yüzeylerle uyumluluk dahil olmak üzere birçok avantajı, duvar ve betonarme yapı elemanlarının dıştan yapıştırılmış takviyesi için bu kompozitleri çok ilginç hale getirmiştir.

TRM TEKSTİL VE HARÇLARI

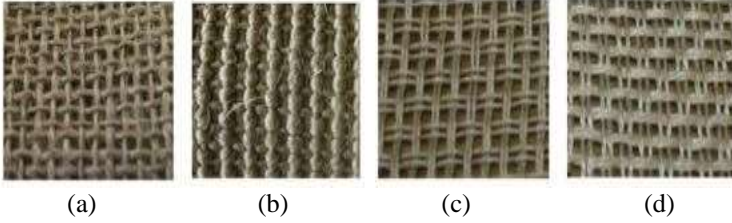
TRM Tekstilleri

Tekstil takviyeli harçlar, genellikle polimerik bağlayıcılar ile takviye edilmiş inorganik malzemelerin bir karışımını ifade eder. Bu malzemeler, geleneksel beton ve sıva gibi yapı malzemelerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Genellikle cam elyafı, karbon elyafı, bazalt elyafı veya bazı doğal lifler gibi tekstil takviyeleri ile güçlendirilirler. Bu takviyeler, harçların çekme ve esneme dayanıklılığını artırırken, aynı zamanda ağırlıklarını azaltır ve işlenebilirliklerini artırır.

Genellikle karbon elyafı, bazalt elyafı, cam elyafı veya PBO (polipfenilenbenzobisoksazol) lifleri gibi tekstil takviyeleri ile güçlendirilirler. (Şekil 1). Tekstiller, genel olarak lif demetlerinin iki yönlü doğrultuda ızgara şeklinde düzenlenmesiyle üretilir ancak maliyeti azaltmak için lif demetlerinin iki doğrultuda ya da ikiden fazla doğrultuda yönlendirildiği çok doğrultulu tekstiller de mevcuttur (Gries vd., 2016:3). Tekstildeki aralıkların inorganik matrisin (harcın) temasına izin vermesi önemli bir husustur. Yapısal tekstil üretiminde şekil 2'de gösterilen dokunmuş doğal lifler de kullanılabilir.



Şekil 1: Yapay Lif ile Hazırlanmış Tekstiller: a) karbon, b) bazalt, c) cam, d) PBO
Kaynak: Raouf, 2017.



Şekil 2: Doğal Lif ile Hazırlanmış Tekstiller: a) jüt, b) sisal, c) kenevir, d) keten
Kaynak: Codispoti vd., 2015

TRM tekstillerinde; lif miktarı, kaplama çeşidi, mekanik özellikler, dokuma şekli, matris ile bağlanma seviyesi ve harcın dış etkilere, alkali ortama dayanıklılığı gibi özellikler, kompozitin davranışını ve servis ömrü boyunca tekstilin takviye özelliğini etkileyen önemli faktörlerdir. Liflerin tekstil makinelerinde düşük maliyetle TRM takviye tekstiline dönüştürülebilmesi ve tekstilin işlenebilirliğinin kolaylaştırılması, uygulanabilirlik açısından önemlidir (Güneş, 2011:19). TRM tekstillerinde kullanılan lif çeşitlerinin mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Cam, bazalt ve karbon lifleri, en sık kullanılan temel lif tipleridir. Çimento bazlı kompozitlerde, genellikle cam lifler tercih edilir. Cam liflerin, yüksek özgül dayanıma (çekme dayanımı/yoğunluk oranı) ve düşük birim maliyete sahip olması cam lifleri avantajlı hale getirmektedir.

Bazalt, volkanik bir kayaç olan ve yeryüzüne çıktığında katılaşıp erimiş lavlardan oluşur. Bazalt lifleri, cam lifler gibi yüksek elastisite modülüne (79.3–93.1 GPa aralığında) ve yüksek çekme dayanımına (3.000–4.840 MPa aralığında) sahiptir. Ayrıca, cam liflere kıyasla daha yüksek yangın dayanımına sahiptirler ve fiziksel hasar olmadan saatlerce çok yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Kolay işlenebilir olmaları ve uygun maliyetleriyle birlikte, bazalt lifleri oldukça avantajlıdır. Yoğunlukları, çeliğe kıyasla çok daha düşüktür, ancak karbon ve cam liflerine daha yakındır. Ekonomik açıdan karbon liflerden daha avantajlı olup, cam liflerden daha dayanımlıdır.

1970’lerde havacılık ve uzay endüstrisine yönelik olarak geliştirilen karbon lifinin, 1980’lerde maliyetinin düşmesiyle birlikte, başka alanlarda da kullanımı artmıştır (Fitzer ve Heine, 1988:74). Karbon liflerin çekme dayanımı, iplik kalınlığına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 2.000

MPa civarındadır. Ancak, inorganik matrisli uygulamalarda karbon liflerin yüzeyinin çok düz olması sıyrılma sorunlarına yol açabilir. Bu sorunu gidermek için bağlanmayı artıran ankrajlar ve/veya mineral katkıli matris uygulamaları kullanılmaktadır.

Tablo 1: Lif Türlerinin Mekanik Özellikleri

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Şekil değiştirme (%)
Çelik	7.85	1200	200	3-4
Cam	2.78	2500	70	3.6
Bazalt	2.7	3000-4840	79.3-93.1	3.1
Karbon	1.60-1.95	3500-6000	230-600	1.5-2.0
PBO	1.56	3400	210	2.5
PVA	1.3	880-1900	25-41	6-10
Aramid	1.4	3000	60-130	2.1-4.0
Polietilen	0.95	250	1.4-2.2	10-15
HDPE	0.97	2000-3500	50-125	3-6
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Kenevir	1.2	530	45	3
Keten	1.45	700	60	2.3
Jüt	1.4	325	37.5	2.5

Kaynak: Güneş, E. M., 2022.

Lif Türünün TRM Mekanik Performansına Etkisi

Kompozitin mekanik özellikleri; tekstili oluşturan lifin çekme dayanımına, şekil değiştirme kapasitesine, elastisite modülüne, kaplama türüne, matrise yapışma düzeyine ve matrisin alkali ortamına karşı dayanıklılığına göre değişir. Özellikleri belirleyen etkenler;

- TRM kompozitleri, tekstil kumaşlarla güçlendirilmiş inorganik esaslı matrislerden meydana gelir. Suyu seven (su emiciliği yüksek) bir lifin düşük alkali direnci nedeniyle meydana gelen korozyon sonucunda kabuklanma oluşabilir, bu da donatının sıyrılmadan kopmasına sebep olacak aşırı güçlü bir bağ oluşturabilir. Suyu sevmeyen liflerde, ara yüzeydeki zayıf bağlar liflerin harçtan kolayca sıyrılmasına neden olabilir, bu da düşük dayanım sergilemelerine yol açabilir. (Güneş, 2022:21).
- Tekstil liflerinin elastisite modülü mekanik performans açısından önemli bir faktördür. Cam ve karbon liflerden yapılan kompozitlerde yapılan aksel çekme testlerinde, karbon lifli TRM'nin cam lifli olanlara göre 3 kat daha yüksek elastisite modülüne sahip olduğu gözlemlenmiş ve bu nedenle çekme dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Hegger vd., 2007:62). Yapılan deneylerde görüldüğü üzere liflerdeki elastisite modülü farklılıkları TRM'nin farklı şekilde çalışmasına sebep olmaktadır.

- Kompozitin maksimum şekil değiştirmesini belirleyen faktörler, tekstilin çekme dayanımı ve matris ile olan aderans düzeyidir. Tekstil çekme dayanımı ve elastisite modülü, Kompozitin çekme dayanımıyla orantılıdır; ancak şekil değiştirme, tekstilin maksimum şekil değiştirme kapasitesine ve matristen sıyrılıp çıkabilme yeteneğine bağlıdır (Güneş, 2022:22).
- Lif çapı, benzer veya aynı kalınlıklı demetlerde, matrisle olan lif teması açısından önemlidir. Yapılan çalışmalarda, aynı göz açıklığına sahip cam lif demeti ile karşılaştırıldığında, karbon lif demetinin içerdiği daha fazla lif nedeniyle, karbon tekstilin, cam kumaşa göre tek başına %60 daha yüksek dayanım gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, matris içindeyken, kompozit dayanımı, lif dayanımı oranı cam demetli kompozitlerde iki kat daha yüksektir. Bu durum, karbon lif demetlerinde bulunan fazla sayıda lifin, düşük matris penetrasyonuna neden olmasından kaynaklanmaktadır (Güneş, 2022:22).

TRM Harçları ve Özellikleri

Kompozit sistemin matris fazı olan harç, içinde bulunan takviye tekstilini dış etkilere karşı korurken, aynı zamanda uygulama yüzeyi ile gerilme transferini sağlar. Harçlar genel olarak kireç veya çimento temelli karışımlardan meydana gelir. Harcın ana bileşenine ilave olarak, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve doğal puzolanlar gibi katkı maddeleri de kullanılabilir. Bunların yanı sıra, tekstil ile harç arasındaki aderansı iyileştirmek veya harcın işlenebilirlik özelliğini artırmak için organik esaslı polimer katkılar da harç karışımına ilave edilebilir. Fakat bu tür katkılar kompozitin hava geçirgenliği ve yangın dayanımı gibi özelliklerini olumsuz etkileyebilir (ACI, 2013:21).

Aşağıda, TRM kompozitleri için tasarlanan harç malzemesinin temel özellikleri belirtilmiştir (Kolsch, 1998:107).

- Harcın, yeterli mekanik özelliklere sahip olması, yük aktarımını sağlamak için önemlidir.
- Tekstil-matris arayüzünde yeterli bağlanmayı sağlaması için tekstil ile aderansının iyi olması gerekmektedir,
- Liflerin ve uygulama yüzeyinin, termal ve kimyasal uyumluluğa sahip olması önemlidir.
- Isıl direncinin yüksek olması ve yangına dayanıklılık, temel özellikler arasındadır.
- İşlenebilir olması, özellikle geniş dikey yüzeylere uygulanabilirlik ve yeterli priz süresi sağlaması, uygulama açısından önemlidir.
- Ekolojik olması avantaj sağlamaktadır.

Çimento esaslı harçlar, genellikle betonarme yapıların güçlendirme ve onarımı için tercih edilirken; kireç esaslı harçlar ise tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılmaktadır (Valuzzi vd., 2014:1977).

TRM KOMPOZİTLERLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR VE UYGULANAN DENEYLER

Son on yılda, betonarme yapıların güçlendirilmesine ilişkin çeşitli durumlarda TRM'den yararlanmak için eğilme, betonarme elemanların kesme güçlendirmesi, betonarme kolonların sismik güçlendirmesi, dolgulu betonarme çerçevelerin sismik güçlendirmesi gibi önemli araştırma çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneyler; genellikle eksenel çekme testleri, eğilme testleri ve yüzeye yapışma testleridir. Deneylerin sonuçları, kompozitin mekanik performansını belirlemek için dayanıklılık, yer değiştirme/gerilme-şekil değiştirme davranışı ve mikro yapısal analizlerle elde edilen çatlak özelliklerini içerir. TRM ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

- Mezrea (2014), tez çalışmasında, tarihi açıdan önem taşımayan bir binanın yıkımı sırasında sağlam tuğlalardan oluşturulan duvar örneklerinin tekstil takviyeli harç (TRM) ile güçlendirilmesi öncesinde ve sonrasında kayma davranışını incelemiştir. Numunelerin karşılaştırılması sonucunda, harç özelliklerinin dayanım artışında önemli ölçüde belirleyici olduğunu ve tekstil ile takviyenin bu artışı desteklediğini göstermiştir. Ankraj uygulamasının kayma dayanımını önemli ölçüde artırmadığı ancak deformasyon kapasitesini artırdığını belirlemiştir. Tekstil donatılı numunelerin şekil değiştirme yeteneğinin belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarıyla, tekstil takviyeli harç ile güçlendirilen ve diyagonal basınç yüklemesi altında test edilen numunelerin kayma dayanımı ve deformasyon kapasitesinin önemli ölçüde arttığını ve kayma davranışının önemli ölçüde iyileştiğini ortaya koymuştur.
- Yılmaz (2014), tez çalışmasında, tarihi bir yapıdan elde ettiği tuğlalarla oluşturduğu ve Tekstil ile Takviye Edilmiş Harç ile güçlendirdiği yığma kolonların basınç yükleri altındaki davranışını deneysel olarak incelemiş ve uyguladığı dört farklı güçlendirme yönteminin etkinliğini araştırmıştır. Deneylerin sonuçlarına göre, bazalt lifli tekstil takviyeli sıva ile güçlendirme yönteminin yığma kolonların esnekliğini ve enerji emme kapasitelerini önemli ölçüde artırdığını, ancak basınç dayanımlarında sınırlı bir artış sağladığını belirlemiştir.
- Raouf vd. (2016), tekstil donatılı harç (TRM) ve beton yüzeyler arasındaki bağ davranışı üzerine genişletilmiş bir deneysel çalışma sunmaktadırlar. İncelenen değişkenler şunlardır: (a) bağ uzunluğu (50 mm ile 450 mm arasında); (b) TRM katman sayısı (birden dörde); (c) beton yüzey hazırlığı (taşlama ve kum püskürtme); (d) beton basınç dayanımı (15 MPa veya 30 MPa); (e) tekstil kaplama

ve (f) TRM ceketleriyle sarma yoluyla sabitleme. Sonuç olarak belirli bir bağ uzunluğundan bağ kuvvetinin çok az olarak arttığı; katman sayısını artırarak, bağ kapasitesi orantısız bir şekilde artarken, göçme modunun değiştiği; beton kumlama, yapışma kapasitesi ve kırılma türü açısından taşlamaya eşdeğer olduğu, beton basınç dayanımının bağlanma kapasitesi üzerinde çok az bir etkisi olduğu, kaplanmış tekstillerin kullanılması, göçme modunu değiştirdiği ve bağlanma mukavemetini önemli ölçüde artırdığı ve TRM'nin TRM ceketleri ile sarılarak sabitlenmesi, nihai yük kapasitesini önemli ölçüde artırdığını gözlemlemişlerdir.

- Shrestha vd. (2017), beton altlık ile TRM sistemi arasındaki bağ davranışında güçlendirme öncesi yüzey hazırlığının önemini araştırmayı amaçlamışlardır. İki tip ticari TRM sistemi kullanarak, güçlendirme öncesi üç farklı yüzey pürüzlendirme seviyesini değerlendirmişlerdir. TRM güçlendirme tabakasının beton yüzeye yapışma performansını, çekme testleri ile incelemişlerdir. Sonuç olarak, beton alt tabaka pürüzlendirmesi ile her iki TRM sistemi için de çekme mukavemetinde önemli bir artış olduğunu, kabul edilen iki pürüzlendirme seviyesi, daha yüksek pürüzlendirme seviyesinin daha fazla güç sergilediği farklı sonuçlar gösterdiğini tespit etmişlerdir.
- Dalalbashi vd., (2018), lif gömülü uzunluk ve konfigürasyonun çekme tepkisi üzerindeki etkisini hem deneysel hem de analitik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, lif-harç bağ tepkisi üzerindeki etkileri araştırmışlar ve elde edilen sonuçlara dayanarak, tek yönlü ve çift yönlü ızgaralardan oluşan TRM kompozitleri için bağ-kayma yasaları önermişlerdir. Testleri, tek yönlü çelik ve çift yönlü cam esaslı TRM kompozitleri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, tek lifli çekme testleri ile geleneksel tek bindirmeli kesme bağ testlerinin sonuçlarını karşılaştırarak, bu iki test yöntemi arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları vurgulamışlardır. Sonuç olarak lif sayısını artırmanın sürtünme gerilimini azalttığı, çekme ve harç çatlamasını önlemede harç kalınlığının artırılmasının etkili olduğu, enine liflerin varlığı nedeniyle tokluğun önemli ölçüde arttığı sonuçlarına varmışlardır.
- Şimşek (2018), model tuğla duvarların çelik ve tekstil hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesini deneylerle incelemiştir. Sonuçlar, çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerin kayma gerilmeleri ile kırılma yüklerinin yüksek değerlerde olduğunu gösterirken, bazalt mesh donatılı numunelerin ise en düşük kayma gerilmelerine ve kırılma yüklerine sahip olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, cam lifi ve bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerin, çelik hasır ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilenlere nazaran daha fazla

düşey şekil değiştirdiğini ve daha sünek bir davranış sergilediğini tespit etmiştir. Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin ani bir şekilde göçmeye uğradığını gözlemlemiştir. Ayrıca, güçlendirilen numunelerin göçme biçimlerinde donatı türünün belirleyici olduğu ortaya çıkmıştır. Bazalt donatılı numunelerde, bazalt mesh ile güçlendirme harcı arasındaki aderansın diğerlerine göre daha düşük olduğu ve donatı ile harcın yüklemenin erken dönemlerinde ayrılmaya başladığını belirlemiştir.

- Heins vd., (2020), zorlu çevresel koşullara maruz kalan tekstil takviyeli harcın (TRM) uzun vadeli yapışma ve çekme mukavemetlerini incelemişlerdir. Çalışmanın amacı, karbon TRM'nin uzun vadeli bağlanma ve gerilme mukavemetlerini hızlandırılmış yaşlandırma yöntemiyle değerlendirmektir. Nem, yüksek sıcaklık ve donma-çözölme döngüleri gibi zorlu çevre koşullarını simüle etmişlerdir. Ayrıca, ızgara tipi tekstillerin yüzeyini, harç matrisiyle bağ mukavemetini artırmak için kaplamışlardır. Bağlanma testi için toplam 130 TRM numunesi üretilmiş ve değişen nem koşulları ve sıcaklıklarda 180 güne kadar uzun bir süre boyunca şartlandırılmıştır. TRM'nin uzun vadeli bağlanma gücü bir dizi bağlanma testiyle değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, 96 TRM numunesi donma-çözölme koşullarında ve yüksek sıcaklıkta üretilip şartlandırmışlardır. TRM'nin uzun vadeli çekme mukavemeti doğrudan çekme testleriyle değerlendirilmiş olup bağlanma testlerinin sonuçları, TRM'nin nemden önemli ölçüde etkilendiğini, donma-çözölme koşullarının ve yüksek sıcaklığın ise TRM'nin çekme dayanımı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir.
- Mercimek vd. (2021), çift doğrultulu betonarme döşemelerde birden fazla boşluğun zımbalama davranışına olan negatif etkilerini ve bu boşluklardan kaynaklanan davranış problemlerini azaltmak için tekstil takviyeli sıva şeritlerin kullanılarak döşemelerin güçlendirilmesini inceleyen bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyleerde, boşluklu deney elemanlarından ikisi tekstil takviyeli sıva katmanlı (TGSK) şeritler ile güçlendirilmiş ve boşlukların zımbalama davranışı üzerindeki olumsuz etkilerinin ne kadar iyileştirilebildiğini araştırılmışlardır. Güçlendirme işlemi sırasında çift doğrultulu karbon tekstil (hasır şeklinde) kullanılmışlardır. Çalışma sonuçları, TGSK şeritler ile güçlendirilen döşemelerin zımbalama dayanımını önemli ölçüde artırdığını ve boşlukların negatif etkilerini sınırladığını göstermiştir.
- Ren vd. (2022), bağlama yöntemiyle güçlendirilmiş beton yapılarda düşük malzeme dayanımı ve yetersiz donatı kullanımının yol açtığı sorunları çözmek amacıyla, betonarme kirişler için

öngerilmeli TRM donatısının deneysel bir çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, kendilerinin geliştirdiği özel germe ve ankraj ekipmanını kullanmışlardır. Öngerilmeli TRM'nin taşıma kapasitesi, kırılma özellikleri ve süneklik üzerindeki etkilerini incelemek üzere üç betonarme kiriş testi yapmışlardır. Öngerilme TRM takviyesi ile çatlak ve nihai yükün önemli ölçüde; akma yükünün de %30'dan fazla artırılabilceği sonucuna varmışlardır. Öngerilmeli TRM ile takviye edilen kirişler, çatlakların oluşumunu etkin bir şekilde sınırlamaktadır; ancak, bu takviye sonrasında kirişlerin sünekliği bir miktar azalmıştır. Test kirişinin son kırılmasına elyaf tekstilinin gerilme hatası neden olmuştur ve kirişin akma yükü açıkça artmıştır, bu da elyaf tekstili üzerindeki ön gerilim kuvvetinin mukavemet kullanım oranını etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermişlerdir.

- Mercimek vd. (2022), düşük narınlığe sahip betonarme kolonların nihai yük kapasitesi, başlangıç rijitliği ve enerji yutma kapasitesi gibi kritik performanslarını iyileştirmek amacıyla, Tekstil Takviyeli Harç (TRM) şeridi kullanarak deneysel ve sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Toplam 17 adet betonarme kolonu tek eksenli basınç altında test etmişlerdir. Karbon tekstil tipi, şerit genişliği ve mesafesi ile karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) fan tipi ankraj kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Çalışmanın deneysel bölümünde, TRM şeritleriyle güçlendirilmiş betonarme kolonların nihai yük kapasitelerinin 1.19 ila 1.78 kat, ilk sertliklerinin 1.01 ila 1.99 kat ve enerji yutma kapasitelerinin ise 1.22 ila 2.09 kat arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca deney numuneleri için ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı ile simülasyon modelleri oluşturmuşlardır. Analiz sonuçları ve deneysel çıktıları karşılaştırarak yorumlamışlardır. Doğrulanmış FEM modeli kullanarak, beton basınç dayanımındaki artışın incelenen numunelerin performansına etkisini belirlemek için parametrik bir sayısal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın ana bulguları, önerilen TRM şeritlerinin betonarme kolonların güçlendirilmesi için başarılı bir yöntem olduğunu göstermiştir.

TÜRKİYE'DEKİ TRM UYGULAMALARI

Tarihi yapılar ve anıtların sağlıklı bir şekilde korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için konservasyon ve restorasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Restorasyon sürecinde, anıtsal değere sahip tarihi yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesine büyük önem verilmiştir. Bu yapılar, gelecek kuşaklara miras olarak aktarıldığı için deprem davranışlarının iyileştirilmesi, sadece bir mühendislik sorunu olarak değil,

aynı zamanda mimari ve restorasyon ilkelerinin birleşiminden oluşan bir yaklaşım gerektirir. Güçlendirme projeleri geliştirilirken, mimari ve mühendislik yaklaşımları ile restorasyon prensipleri dikkate alınmalıdır.

Restorasyon yapılırken, maksimum koruma ve minimum müdahale ilkesi doğrultusunda; yapıdan daha kolay uzaklaştırılabilecek tekniklerde ve yapının formunda çok fazla değişiklik yaratmayacak güçlendirme uygulamaları daha çok tercih edilmektedir. Son zamanlarda, restorasyon amaçlı yapılan güçlendirme uygulamaları, malzeme ve uygulama yöntemleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Afetlerin neden olduğu yapı hasarları ve bu hasarların onarımında kullanılan yenilikçi güçlendirme yöntemleri, geleneksel tekniklerle uyumlu olmaları ve yapıdan kolayca çıkarılabilmeleri açısından da önemli bir çeşitlilik sunmaktadır. Bu amaçla tarihi yapıların restorasyonunda yeni uygulamalar araştırılmaktadır. Bu yöntemlerin başında buhar geçirgenliği, ekonomik olması, uygulama kolaylığı, tarihi yapılarda tarihi dokuyu bozmaması, çıkarılabilirlik, duvar ve beton yüzeylerle uyumluluk sağlaması ile TRM uygulaması gelmektedir. TRM, ülkemizde güçlendirme ve onarım amaçlı betonarme yapılardan daha çok yığma tarihi yapılarda uygulanmaktadır. Tarihi yapıların kubbe, tonoz ve yığma duvarlarının güçlendirilmesinde TRM uygulaması son yıllarda ülkemizde tercih edilir hale gelmiştir. Ülkemizdeki uygulamalarına dair örnekler aşağıda verilmiştir.

Küçük Mecidiye Camii Restorasyonu

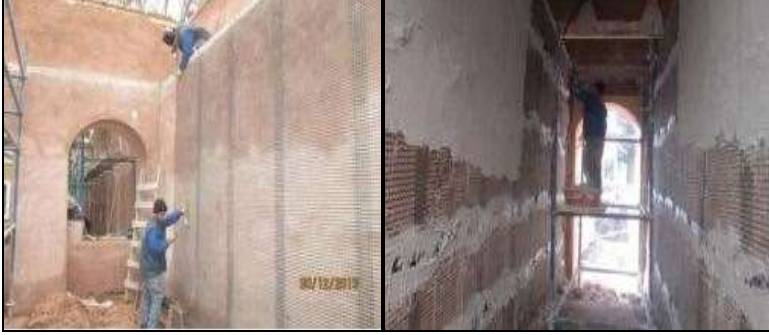
Kârgir yapıların taşıyıcı özellik gösteren yığma duvarları, moloz taş, kesme taş veya tuğla gibi malzemelerle inşa edilmektedir. Yığma duvarlarda en yaygın görülen hasar türü, yapısal çatlaklara yol açan basınç türü gerilmelerdir. Bu hasar türü, 2014 ila 2015 yıllarında restore edilen Küçük Mecidiye Camii Hünkâr Kasrı cephelerinde gözlemlenmektedir. Caminin köşesiz, eliptik bir formu ve pencere boşluklarının sıklığı, zayıf noktaların oluşmasına neden olmuştur. Şekil 3'te görüldüğü gibi, kritik noktalarda biriken gerilmeler sonucunda yapısal çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 3: Küçük Mecidiye Camii (2013)

Kaynak: Cömert, 2013.

2013 yılında hazırlanan öneri güçlendirme raporu doğrultusunda; Meşruta (camide çalışan imam, müezzin gibi görevliler için tahsis edilen oda, ev) bölümünde kısa doğrultularda görece yapısal zayıflıkların bulunduğu duvarlarda düzlemsel dağılma riskini önlemek için bazalt lifli polimer hasır donatılı harç tabakası uygulanmasına karar verilmiştir. Şekil 4'te gösterildiği gibi, iki yönlü olarak kullanılan, 1 metrekare başına 170 kilogramağırlığında olan kare biçimli hasır, 10 milimetre kalınlıklı hidrolik kireç katkılı harç içine yerleştirilmiştir (Cömert vd., 2013).



Şekil 4: Duvarlarda Uygulama Detayı

Onaylı güçlendirme projesine uygun olarak, çekme gerilmelerini dengelemek amacıyla, gerilme yoğunluğunun arttığı pencere boşluklarında, pencere üstlerine Şekil 5'te gösterildiği gibi 2 kat halinde bazalt lifli polimer hasır donatı şeritler, belirli kalınlıktaki harç tabakası içine yerleştirilmiştir. (Cömert vd., 2013).



Şekil 5: Pencere Üstleri Uygulama Detayı

Öneri raporda belirtildiği şekilde köşe birleşimleri için; Şekil 6'da gösterildiği gibi, 90x30 cm boyutlarında CFRP kumaşlar ile ankraj uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kumaşın 90 cm genişliğindeki bölümünün 40 cm'lik kısmı rulo haline getirilerek ankraj çubuğu oluşturulmuş ve geriye

kalan 50 cm'lik bölüm, Bazalt Lifli Polimer Hasır Donatı üzerine epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır.



Şekil 6: Ankraj Aşamaları

TRM uygulamasının avantajlarından biri yapıdan kolay ve yapıya zarar vermeden uzaklaştırılabilmesidir. Bu uygulamalar, kaba sıva üzerine yapılması sebebiyle, gelecekte gerektiğinde raspa yöntemiyle yapıdan kolayca çıkarılabilecektir. Malzemenin hafif oluşu ile yapıya ek bir yük getirmemesi ve diğer güçlendirme yöntemlerine göre ekonomik oluşu bu uygulamanın tercih sebeplerindedir.

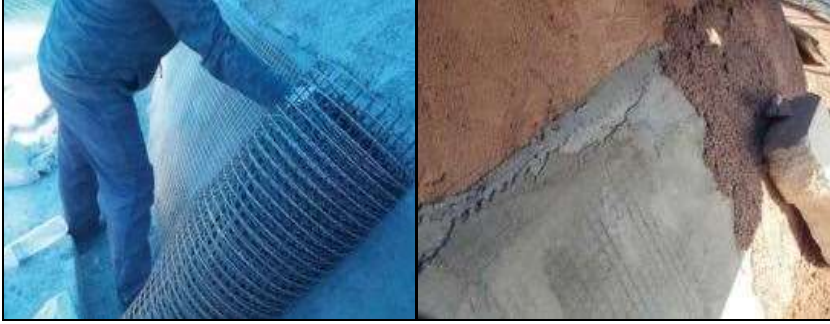
Fındıklı Molla Çelebi Camii Restorasyonu

Fındıklı Molla Çelebi Camisi'nde de görüldüğü üzere tuğla kârgir kubbelerdeki hasarlar genellikle çekme bölgelerinde ortaya çıkar. Kubbeler, basınç gerilmeleri altında çalıştığı için gerilme değerleri arttıkça çekme bölgelerinden dışarı doğru açılmaya eğilimlidir. Çekme gerilmeleri arttıkça, bu kuvvetin taşınamaması çekme bölgelerinde hasarlara neden olur ve hasarların kubbelerin çekme bölgelerinde düşey veya diyagonal şekilde ilerlediği gözlenir. Çatlakların uzunluğu bazı durumlarda kubbe kasağından başlayıp pencere boşluklarında sonlanabilmektedir. Şekil 7'de bu çatlaklar ve pencere üstlerindeki uzanım şekli açıkça görülmektedir (Sesigür vd., 2007:10).



Şekil 7: Fındıklı Molla Çelebi Camii Kubbesi

Şekil 8’de görüldüğü üzere kubbedeki çekme gerilmelerini karşılamak için; 25x25 cm boyutlarında iki doğrultulu kare bazalt hasır donatı, harç içerisine 4 kat olacak şekilde yerleştirilmiştir (Cömert vd., 2013).



Şekil 8: Bazalt Hasır Donatılı Harç Uygulama Aşamaları

Davutpaşa Camii Restorasyonu

Davutpaşa Camii restorasyonunda Şekil 9’da görüldüğü üzere kubbelerdeki bütün kurşunlar kaldırılarak çekme gerilmelerini karşılamak için bazalt hasır donatı ve sıva uygulaması yapılmıştır.



Şekil 9: Davutpaşa Camii Uygulama Detayı

Kaynak: Aygün, 2020

SONUÇ

Bu çalışmada tekstil ile takviye edilmiş harçların (TRM) tanımı, çeşitleri, TRM ile ilgili yapılmış deneyler ve çalışmalar, Türkiye’de yapılan uygulamalar incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde;

- Fiber takviyeli polimerler (FRP) ve karbon elyaf takviyeli polimerler (CFRP) mühendisler tarafından güçlendirme tekniği olarak 1980’li yıllardan beri yaygın olarak kullanılmasıyla beraber, son 10 yıl içerisinde Tekstil ile takviye edilmiş çimento esaslı malzemelerin güçlendirme tekniği olarak kullanımı artmıştır.

- Tekstil Takviyeli Harç (TRM) kompozitlerinin, yangına dayanıklılık, buhar geçirgenliği, ekonomik olması, uygulama kolaylığı, tarihi yapılarda tarihi dokuyu bozmaması, çıkarılabilirlik, duvar ve beton yüzeylerle uyumluluk dahil olmak üzere birçok avantajı bulunmaktadır.
- TRM kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla küçük ölçekli numuneler üzerinde; aksenal çekme testleri, eğilme testleri, yüzeye yapışma testleri şeklinde deneyler yapılmıştır.
- TRM’de kullanılan tekstillerin üretiminde genellikle karbon, bazalt ve cam içerikli lifler kullanılmıştır. Harçlar genellikle çimento veya kireç esaslı karışımlardan oluşmuştur.
- Tekstil Takviyeli Harç bileşiminde kullanılan lif ve harç türünün TRM’nin mekanik özelliklerine etki ettiği sonucuna varılmıştır.
- TRM, ülkemizde güçlendirme ve onarım amaçlı betonarme yapılardan daha çok yığma tarihi yapılarda uygulanmaktadır. Tarihi yapıların kubbe, tonoz ve yığma duvarlarının güçlendirilmesinde TRM uygulaması son yıllarda ülkemizde tercih edilir hale gelmiştir.

REFERANSLAR

- ACI, 549.4R (2013). Design and construction of externally bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for repair and strengthening concrete and masonry Structures, pp.21.
- Aygün, B. (2020). Lifli polimerler ile yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, basit hesap teknikleri ve şantiyedeki kalite kontrolü. *Deprem Güçlendirme Derneği Uzaktan Eğitim Semineri*.
- Codispoti, R., Oliveira, D. V., Olivito, R. S., Lourenço, P. B., ve Fanguero, R. (2015). Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. *Composite Part B: Engineering*, 77, 74–83.
- Cömert, M., Demir, C., ve İlki, A. (2013). “Küçük Mecidiye Camii Yapısal Değerlendirme Raporu” İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Cömert, M., Demir, C., ve İlki, A. (2013). Molla Çelebi Camii Yapısal Değerlendirme Raporu, Teknik Rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi.
- Dalalbashi, A., Freitas, A., Ghiasi, A. ve Oliveira, D. (2018). Fiber-to-mortar bond behavior in TRM composites: effect of embedded length and fiber configuration. *Composites Part B: Engineering*, 152(1), 43-57.
- Fitzer, F. ve Heine, M. (1988). Carbon fibre manufacture and surface treatment. Elsevier Science Publishers B. V., Fiber Reinforcements for Composite Materials., 2, 73–148.
- Gries, T., Raina, M., Quadflieg, T. ve Stolyarov, O. (2016). Manufacturing of textiles for civil engineering applications. *Textile fibre composites in civil engineering*, 3–24.

- Güneş, E. M. (2022). Tekstil donatılı harçlar ile yığma elemanların güçlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, Doktora Tezi.
- Hegger, J., Bruckermann, O., ve Voss, S. (2007). AR-Glass and carbon fibers in textile reinforced concrete—simulation and design. *Special Publication*, 244, 57–76.
- Heins, K., Kimm, M., Olbrueck, L., May, M., Gries, T., Kolkman, A., SungRyu, G., Hong Ahn, G. ve Yeol Kim, H. (2020). Long-term bonding and tensile strengths of carbon textile reinforced mortar. *Materials*, 13(20), 4485.
- Kolsch, H. (1998). Carbon fiber cement matrix (CFCM) overlay system for masonry strengthening. *Journal of Composites for Construction*, 2(2), 105–109.
- Luccioni, B. ve Rougier, V. C. (2011). In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1725- 1788.
- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Anıl, Ö.ve Baran, M. (2021). Birden Fazla Boşluklu Çift Doğrultulu Betonarme Döşemelerin Zımbalama Performansının İyileştirilmesi için Tekstil ile Güçlendirilmiş Sıva Şeritler ile Güçlendirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 573-582.
- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Özdemir, A., Anıl, Ö., Erbaş, Y. (2022). Investigation of strengthened low slenderness RC column by using textile reinforced mortar strip under axial load. *Engineering Structures*, 259:114191
- Mezrea, E., P. (2014). *Tarihi tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou T. C., Karlos, K. ve Papathanasiou M. (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading, *Materials and Structures*, 40, 1081-1097.
- Raof, M., S., Koutas, L., N. ve Bournas, D.,A. (2016). Bond between textile-reinforced mortar (TRM) and concrete substrates: Experimental investigation. *Composites Part B*: 98, 350-361.
- Raof, S. M. (2017). *Bond between textile reinforced mortar (TRM) and concrete substrate*. Doctor of Philosophy in Civil and structural Engineering at The University of Nottingham.
- Ren, W. ve Liu, H., Z. (2021). Research on bending performance of RC beams reinforced by prestressed TRM. *Journal of Physics: Conference Series*, 2158.
- Sesigür, H., Çelik, O. C., ve Çılı, F. (2007). Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, hasar biçimleri, onarım ve güçlendirme. *Yapı Dergisi*, 303, 10-21.
- Shrestha, K., C., Ebead, U. ve Younis., A. (2017). Effect of surface roughening on concrete/TRM bond. *Resilient Structures and Sustainable Construction. Valencia, Spain*.
- Şimşek, E.T.A. (2018). Tarihi yapılarda tuğla duvarların çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Valluzzi, M. R., Modena, C. ve de Felice G. (2014). Current practice and open issues in strengthening historical buildings with composites. *Materials and structures*, 47, 1971–1985.

Yılmaz, İ. A. (2014). Tarihi Tuğlalarla Örülen Yığma Kolonların Harç Takviyeli Bazalt Lifli Kumaşlar İle Şargılanması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

